

**ANALISIS KERAPUHAN SEISMIC
STRUKTUR BETON BERTULANG
(STUDI KASUS : GEDUNG V FAKULTAS TEKNIK UNS SURAKARTA)**

*SEISMIC FRAGILITY ANALYSIS FOR CONCRETE BUILDINGS
(CASE STUDY : ENGINEERING FACULTY BUILDING V, UNS SURAKARTA)*

SKRIPSI

*Disusun sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Sebelas Maret
Surakarta*



**Disusun oleh :
ERLIN WIJAYANTI
I 0111035**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
2015**

LEMBAR PERSETUJUAN
ANALISIS KERAPUHAN SEISMIK
STRUKTUR BETON BERTULANG
STUDI KASUS : GEDUNG V FAKULTAS TEKNIK UNS SURAKARTA

SEISMIC FRAGILITY ANALYSIS FOR CONCRETE BUILDINGS
(CASE STUDY : ENGINEERING FACULTY BUILDING V, UNS SURAKARTA)

SKRIPSI



Disusun oleh :
ERLIN WIJAYANTI
I 0111035

Telah disetujui untuk dipertahankan di hadapan Tim Penguji Pendadaran Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret

Persetujuan :

Dosen Pembimbing I

Prof. S. A. Kristiawan, ST, MSc, Ph.D
NIP . 19690501 199512 1 001

Dosen Pembimbing II

Edy Purwanto, ST, MT
NIP . 19680912 199702 1 001

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS KERAPUHAN SEISMIK STRUKTUR BETON BERTULANG

(STUDI KASUS : GEDUNG V FAKULTAS TEKNIK UNS SURAKARTA)

SEISMIC FRAGILITY ANALYSIS FOR CONCRETE BUILDINGS

(CASE STUDY : ENGINEERING FACULTY BUILDING V, UNS SURAKARTA)

SKRIPSI

Disusun oleh :

ERLIN WIJAYANTI

I 0111035

Telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta dan diterima guna memenuhi persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada hari Selasa, 18 Agustus 2015 :

Tim Penguji :

1. Prof. S.A. Kristiawan, ST, MSc, PhD
NIP. 19690501 199512 1 001
2. Edy Purwanto, ST, MT.
NIP . 19680912 199702 1 001
3. Ir. Sunarmasto, MT.
NIP. 19560717 198703 1 003
4. Ir. Agus Supriyadi, MT.
NIP. 19600322 198803 1 001



Mengesahkan,
Kepala Program Studi Teknik Sipil



Wibowo, ST, DEA

NIP. 19681007 199502 1 001

MOTTO

Dimana ada kemauan, pasti ada jalan.

PERSEMBAHAN

Saya persembahkan karya ini untuk :

Kedua pahlawan hidup, orang tua serta keluarga yang selalu memberi dukungan,

Sahabat-sahabat tersayang dan seseorang yang terkasih.

Terima kasih kepada :

Pembimbing yang selalu membagi ilmunya dan segala bantuan yang diberikan

Seluruh dosen dan staf Program Studi Teknik Sipil yang banyak memberi pelajaran berarti.

ABSTRAK

Erlin Wijayanti, 2015. Analisis Kerapuhan Seismik Struktur Beton Bertulang (Studi Kasus : Gedung V Fakultas Teknik UNS Surakarta). Tugas Akhir. Program Studi teknik Sipil Fakultas teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Evaluasi kinerja seismik bangunan untuk menghitung kerentanan bangunan seperti dalam hal gempa masa depan sangat penting untuk dilakukan. Kerentanan bangunan dapat diukur dengan kurva kerapuhan, yang mewakili probabilitas melebihi tingkat yang ditentukan kerusakan untuk berbagai intensitas gerakan tanah. Kurva kerapuhan seismik sangat penting untuk memperkirakan risiko secara keseluruhan pada infrastruktur sipil terhadap potensi gempa yang ada dan juga memprediksi dampak ekonomi yang timbul akibat gempa tersebut. Metodologi HAZUS (Multi-hazard Loss Estimation Methodology) telah banyak digunakan untuk memperkirakan potensi kerugian dari saham bangunan yang ada disebabkan oleh guncangan tanah saat gempa untuk tujuan mengukur resiko gempa di suatu daerah atau wilayah perkotaan. Langkah penting dalam metodologi HAZUS untuk memperkirakan kerugian gempa adalah membangun kurva kerapuhan untuk berbagai *damage states* – *Slight, Moderate, Extensive, and Complete*.

Analisis struktur terhadap Gedung V Fakultas Teknik UNS untuk menghasilkan kurva kerapuhan seismik bangunan mengikuti prosedur untuk mendapatkan fungsi kerapuhan berdasarkan analisis *pushover* statik non-linear dan metodologi HAZUS. Kurva kerapuhan memiliki parameter yang tidak diketahui berupa median *spektra displacement* ($\bar{S}_{d,si}$) dan standar deviasi lognormal (β). Kurva kapasitas diperlukan untuk mengidentifikasi letak *spektra median displacement* pada kondisi kerusakan yang bervariasi - *Slight, Moderate, Extensive, and Complete*. Nilai standar deviasi lognormal diusulkan dari HAZUS. Analisis *pushover* statik non-linear pada bangunan dilakukan untuk menghasilkan kurva kapasitas. Kurva kapasitas yang diperoleh dari analisis ini diubah menjadi kapasitas spektrum untuk mendapatkan nilai *spektra median displacement*. Nilai *spectral displacement*, S_d divariasikan secara acak hingga diperoleh nilai probabilitas dari 0 sampai 1 yang menghasilkan bentuk kurva yang baik.

Kurva kapasitas setruktur Gedung V Fakultas Teknik UNS hasil analisis *pushover* non-linier menunjukkan nilai *displacement* = 26,4521 cm dan nilai *base reaction* = 1293,7217 Tonf ketika mencapai titik *collapse*. Besarnya parameter yang dipergunakan untuk menggambarkan kurva kerapuhan seismik Gedung V Fakultas Teknik UNS pada kondisi *slight damage, moderate damage, extensive damage, complete damage* secara berturut-turut adalah 2,2977 cm, 3,4466 cm, 7,4583 cm, 16,1879 cm untuk $\bar{S}_{d,ds}$, 0,63; 0,65; 0,66; 0,71 untuk β_{ds} , dan S_d = 0,35 cm sampai S_d = 51,00 cm, S_d = 0,50 cm sampai S_d = 83,00 cm, S_d = 1,00 cm sampai S_d = 189,00 cm, S_d = 2,00 cm sampai S_d = 522,00 cm untuk rentang S_d . Kurva kerapuhan seismik struktur Gedung V Fakultas Teknik UNS menunjukkan nilai probabilitas kegagalan struktur yang bervariasi pada berbagai *spektra displacement* untuk kondisi *slight damage, moderate damage, extensive damage* dan *complete damage*.

Kata kunci : kurva kerapuhan seismik, *pushover*, kurva kapasitas, probabilitas kerusakan, *spektra displacement*

ABSTRACT

Erlin Wijayanti, 2015. Seismic Fragility Analysis for Concrete Buildings (Case Study: Engineering Faculty Building V UNS Surakarta). Department of Civil Engineering, Sebelas Maret University, Surakarta.

Evaluate the seismic performance of building in order to calculate the vulnerability of such building in the event of future earthquake is very important to do. The vulnerability of building may be measured by fragility curve, which represents the probability of exceeding a prescribed level of damage for a wide range of ground motion intensities. Fragility curves are extremely important for estimating the overall risk to the civil infrastructure from potential earthquakes and for predicting the economic impact of future earthquakes. The HAZUS methodology (Multi-hazard Loss Estimation Methodology) has been widely used for estimating the potential losses of an existing building stock caused by earthquake ground shaking for the purpose of quantifying seismic risk in a region or an urban area. An important step in the HAZUS methodology for estimating earthquake loss is to establish the fragility curves for various damage states – Slight, Moderate, Extensive, and Complete.

The structural analysis of Engineering Faculty Building V UNS Surakarta to determine the seismic fragility curve is following a procedure for establishing fragility functions based on non-linear static pushover analysis and HAZUS methodology. Fragility curve is a measure of probabilistic seismic performance with median spectra displacement ($\bar{S}_{d,si}$) and standard deviation lognormal (β) as uncertainty parameters. Capacity curves obtained from this analysis is converted into spectrum capacity to identify the location of the median spectra displacement for various damage state - Slight, Moderate, Extensive, and Complete. The value of lognormal standard deviation, β is proposed from HAZUS. Nonlinear pushover analysis of a representative building is carried out to establish a capacity curve. Capacity curves obtained from this analysis is converted into spectrum capacity to identify the location of the median spectra displacement. The spectral displacement value, S_d varied randomly until obtained the probability value from 0 until 1 that produces a good curve form.

The capacity curves of Engineering Faculty Building V UNS Surakarta from non-linear pushover analysis results showed the value of displacement = 26.4521 cm and the value of base reaction = 1293.7217 Tonf when it reaches the point of collapse. The parameters magnitude used to describe the seismic fragility curves of Engineering Faculty Building V UNS Surakarta for slight damage state, moderate damage state, extensive damage state, and complete damage state are, respectively, 2.2977 cm, 3.4466 cm, 7.4583 cm, 16.1879 cm for $\bar{S}_{d,ds}$, 0.63; 0.65; 0.66; 0.71 for β_{ds} , and $S_d = 0.35$ cm until $S_d = 51.00$ cm, $S_d = 0.50$ cm until $S_d = 83.00$ cm, $S_d = 1.00$ cm until $S_d = 189.00$, $S_d = 2.00$ cm until $S_d = 522.00$ cm for the range of S_d . The fragility curve of Engineering Faculty Building V UNS Surakarta showed the variation of structural damage probability in various of spectra displacement for slight damage state, moderate damage state, extensive damage state, and complete damage state.

Keyword : seismic fragility function, pushover, capacity curve, damage probability, spectra displacement

PENGANTAR

Syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan penulisan laporan skripsi ini dengan baik. Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar kesarjanaan S-1 di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Penyusun menyadari sepenuhnya bahwa tanpa bantuan dari berbagai pihak maka banyak kendala yang sulit untuk dipecahkan hingga terselesaikannya penyusunan laporan skripsi ini. Pada kesempatan ini penyusun ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Segenap pimpinan Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta beserta staf.
2. Segenap pimpinan Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.
3. Profesor Stefanus Adi Kristiawan, S.T., M.Sc., Ph.D selaku Dosen Pembimbing I.
4. Bapak Edy Purwanto, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing II.
5. Ibu Fajar Sri Handayani, S.T., M.T selaku Pembimbing Akademis.
6. Sahabat dan rekan-rekan angkatan 2011.

Dalam penyusunan laporan skripsi ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu penyusun mengharap saran dan kritik yang membangun dari pembaca demi kesempurnaan laporan skripsi yang akan datang. Akhir kata semoga laporan skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak pada umumnya dan mahasiswa pada khususnya.

Surakarta, Agustus 2015

Penyusun

DAFTAR ISI

	Halaman
JUDUL.....	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	iv
ABSTRAK.....	v
PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL	xv
 BAB 1 PENDAHULUAN	 1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	5
1.3. Tujuan Penelitian	5
1.4. Manfaat Penelitian	6
1.5. Batasan Masalah.....	6
 BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	 7
2.1. Tinjauan Pustaka	7
2.2. Landasan Teori.....	13
2.2.1. Beban Gempa	13
2.2.1.1. <i>Spektrum Respons Desain</i>	13
2.2.1.2. Gaya Lateral Ekuivalen.....	14
2.2.2. Analisis Struktur dengan SAP2000.....	18

2.2.2.1. Sendi Plastis	19
2.2.3. <i>Pushover Analysis</i> dengan metode <i>Capacity Spectrum</i>	21
2.2.3.1. Kurva Kapasitas	23
2.2.4. Kurva Kerapuhan Bangunan berdasarkan Metodologi HAZUS.....	25
2.2.4.1. Bahaya Gempa dan Efek Respon Situs.....	26
2.2.4.2. Data Bangunan.....	27
2.2.4.3. Kondisi Kerusakan Bangunan.....	27
2.2.4.4. Respon Bangunan	28
2.2.4.5. Kurva Kerapuhan Seismik Bangunan.....	28
2.2.4.6. Kurva Kerapuhan yang Berasal dari Analisis Statis <i>Pushover</i> Nonlinier	29
2.2.5. Analisis Kurva Kerapuhan Seismik	31
 BAB 3 METODE PENELITIAN	 34
3.1. Lokasi Penelitian.....	34
3.2. Tahapan Analisis.....	35
3.2.1. Analisis <i>Pushover</i>	35
3.2.1.1. Studi Literatur	36
3.2.1.2. Pengumpulan Data	36
3.2.1.3. Pemodelan 3D.....	37
3.2.1.4. Perhitungan Pembebanan.....	38
3.2.1.5. Analisa Respon Spectrum.....	39
3.2.1.6. Perhitungan Beban Gempa.	39
3.2.1.7. Penentuan Sendi Plastis.	39
3.2.1.8. Pembebanan <i>Pushover</i>	39
3.2.2. Analisis Data	40
3.2.2.1. Analisis <i>Output Pushover</i>	40
3.2.2.1. Analisis Kurva Kerapuhan	41
 BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN	 43
4.1. Pembebanan dan Pemodelan Struktur Eksisting.....	43

4.1.1. Perhitungan Beban Mati dan Beban Hidup.....	43
4.1.1.1. Perhitungan Beban Mati	43
4.1.1.2. Perhitungan Beban Hidup	45
4.1.2. Pembebanan Gempa.....	45
4.1.3. Pemodelan Tiga Dimensi	47
4.2. Analisis <i>Pushover</i> Struktur.	49
4.2.1. Hasil Analisis <i>Pushover</i>	49
4.2.1.1. Kurva Kapasitas.	51
4.2.1.3. Analisis Kurva Kapasitas.....	54
4.3. Analisis dan Pembahasan Kurva Kerapuhan Seismik.	57
 BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	 66
5.1 Kesimpulan	66
5.2. Saran.....	67
Daftar Pustaka.....	69

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2.1 Nilai Parameter Perioda Pendekatan C_t dan x menurut SNI 1726:2012	15
Tabel 2.2 Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung menurut SNI 1726:2012	15
Tabel 2.3 Tingkat Kategori Sendi Plastis pada Program SAP2000.....	21
Tabel 4.1 Berat sendiri struktur tiap lantai.....	44
Tabel 4.2 Beban Mati Tambahan Struktur.....	45
Tabel 4.3 Distribusi Vertikal Gaya Gempa Struktur Gedung V Fakultas Teknik UNS.....	47
Tabel 4.4 Penentuan <i>Load Pattern</i> dan <i>Load Case</i> pada program SAP 2000	48
Tabel 4.5 Step Hasil <i>Pushover</i> Gedung V Fakultas Teknik UNS	50
Tabel 4.6 Step Hasil <i>Pushover</i> Gedung V Fakultas Teknik UNS berdasarkan format ATC-40.....	55
Tabel 4.7 Nilai $\bar{S}_{d,ds}$ dan β_{ds} untuk berbagai <i>damage state</i> pada struktur Gedung 5 Fakultas Teknik UNS	58
Tabel 4.8 Hasil perhitungan probabilitas kerusakan struktur untuk berbagai kategori <i>damage state</i> pada struktur Gedung 5 Fakultas Teknik UNS.....	59
Tabel 4.9 Variasi nilai P untuk beragam <i>damage state</i> pada beberapa nilai S_d ...	64

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Spektrum Respons Desain	14
Gambar 2.2 Respons struktur	18
Gambar 2.3 Posisi Sumbu lokal Balok Struktur pada Program SAP 2000	19
Gambar 2.4 Posisi Sumbu lokal Kolom Struktur pada Program SAP 2000	20
Gambar 2.5 Sendi plastis yang terjadi pada balok dan kolom	20
Gambar 2.6 Hubungan <i>Force</i> dengan <i>Deformation</i> pada Sendi	21
Gambar 2.7 Ilustrasi <i>Pushover</i> dan <i>Capacity Curve</i>	24
Gambar 2.8 Modifikasi <i>Capacity Curve</i> menjadi <i>Capacity Spectrum</i>	25
Gambar 2.9 Metodologi Estimasi Kerugian Gempa HAZUS untuk Bangunan..	26
Gambar 2.10 <i>Capacity Spectrum</i> dan letak dari titik kunci	31
Gambar 2.11 Kurva kerapuhan bangunan	33
Gambar 3.1 Lokasi Bangunan	34
Gambar 3.2 Tampak Bangunan	35
Gambar 3.3 Denah Bangunan	35
Gambar 3.4 Sistem koordinat yang digunakan dalam program SAP 2000	37
Gambar 3.5 Diagram alir untuk menggambarkan kurva kerapuhan seismik	42
Gambar 4.1 Penamaan Level Lantai pada Struktur	44
Gambar 4.2 Respons Spektra Desain Wilayah Surakarta	46
Gambar 4.3 Modelisasi Struktur Gedung V Fakultas Teknik UNS pada program SAP 2000	48
Gambar 4.4 Sendi plastis yang terbentuk pada step pertama dan step terakhir struktur Gedung V Fakultas Teknik UNS	50
Gambar 4.5 Kurva Kapasitas Hasil Analisis <i>Pushover</i> struktur Gedung V Fakultas Teknik UNS	52
Gambar 4.6 Kurva Kapasitas Spektrum Hasil Analisis <i>Pushover</i> struktur Gedung V Fakultas Teknik UNS	53
Gambar 4.7 <i>Capacity Spectrum</i> dan letak dari titik kunci.	54

Gambar 4.8	Letak titik median <i>spectra displacement</i> kondisi kerusakan <i>moderate, extensive dan complete</i> pada skala log.	56
Gambar 4.9	Kurva Kerapuhan Seismik untuk kategori <i>slight damage</i> pada struktur Gedung 5 Fakultas Teknik UNS.....	60
Gambar 4.10	Kurva Kerapuhan Seismik untuk kategori <i>moderate damage</i> pada struktur Gedung 5 Fakultas Teknik UNS.....	61
Gambar 4.11	Kurva Kerapuhan Seismik untuk kategori <i>extensive damage</i> pada struktur Gedung 5 Fakultas Teknik UNS.....	61
Gambar 4.12	Kurva Kerapuhan Seismik untuk kategori <i>complete damage</i> pada struktur Gedung 5 Fakultas Teknik UNS.....	62
Gambar 4.13	Kurva Kerapuhan Seismik untuk berbagai <i>damage state</i> pada struktur Gedung 5 Fakultas Teknik UNS.....	63

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
LAMPIRAN A GEOMETRI STRUKTUR.....	LA-1-35
LAMPIRAN B PEMBEBANAN STRUKTUR	LB-1-47
LAMPIRAN C ANALISIS PUSHOVER	LC-1-7
LAMPIRAN D TABEL HAZUS	LD-1-3
LAMPIRAN E KURVA KERAPUHAN SEISMIC.....	LE-1
LAMPIRAN F SURAT-SURAT.....	LF-1-21

DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL

C_r	= Nilai parameter periode pendekatan untuk batas bawah menurut sistem struktur
C_t	= Koefisien pendekatan waktu getar alami untuk gedung beton bertulang menurut UBC 97
C_u	= Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung
C_1	= Faktor respons gempa dari spektrum respons
C_s	= Koefisien respons seismik yang ditentukan
F_i	= Beban gempa nominal statik ekuivalen (ton)
g	= Percepatan gravitasi, satuan m/dt^2
h_n	= Ketinggian struktur di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur (meter)
h_i	= tinggi (meter) dari dasar sampai tingkat I (meter)
I_e	= Faktor keutamaan
k	= Eksponen yang terkait dengan periode struktur
n	= Jumlah tingkat
R	= Faktor reduksi gempa representatif dari struktur gedung yang bersangkutan
S_a	= Spektrum respons percepatan desain (g)
S_{DS}	= Parameter respons spektra percepatan desain pada periode pendek
S_{D1}	= Parameter respons spektra percepatan desain pada periode 1 detik
S_1	= Parameter percepatan spektrum respons desain yang dipetakan
T	= Periode getar fundamental struktur (dt)
T_a	= Periode fundamental pendekatan (dt)
T_c	= Periode struktur yang didapat dari program
V	= Gaya geser dasar seismik (ton)
W_i	= Berat lantai tingkat ke-i, termasuk beban hidup yang sesuai (ton)
W	= Berat total gedung, termasuk beban hidup yang sesuai (ton)
x	= Nilai parameter periode pendekatan untuk batas bawah menurut sistem struktur

Z_i	= Ketinggian lantai tingkat ke-i diukur dari taraf penjepitan lateral (m)
Δ_{roof}	= Displacement atap
ζ	= Koefisien pengali dari jumlah tingkat struktur gedung yang membatasi waktu getar alami fundamental struktur gedung, bergantung pada wilayah gempa
x	= Nilai parameter periode pendekatan untuk batas bawah menurut sistem struktur
$\bar{S}_{d,ds}$	= nilai median <i>spectral displacement</i> di mana bangunan mencapai ambang <i>damage state</i>
β_{ds}	= standar deviasi dari logaritma natural pada <i>spectral displacement</i> dari suatu <i>damage state</i>
Φ	= fungsi distribusi standar kumulatif normal

